

Rehabilitation Gamification System - for Stroke Patients

專題組員：林冠宏、王建湧、熊祖玲、林雨萱

專題編號：PRJ-NTPUCSIE-106-008

執行期間：106 年 9 月 至 107 年 6 月

1. 摘要

根據世界衛生組織統計，全球每年約有 1 千 5 百萬人遭受中風的威脅[1]，中風患者需有持續、穩定且循序漸進的復健方式才能有效地恢復正常的活動功能，但如果病患缺乏復健意願，仍然無法達到有效的復健。

我們改良 Bor-Shing Lin 等人的新式上肢復健系統——結合運動追蹤裝置(motion tracking device, MTD)、虛擬實境遊戲(virtual reality game, VR game)和腦電圖(electroencephalography, EEG)[2]，更新其位移演算法、姿態演算法及專注度演算法，並更改遊戲內容，期望能協助中風患者有更好的復健成效。另外，我們對第一代的患者復健資訊進行分析，以驗證此復健系統的功效。

2. 簡介

(1) 背景

第一代的新式上肢復健系統相較於傳統的復健有許多的優點，例如：利用虛擬實境及運動追蹤裝置進行復健不需要復健師全程參與，可以減少復健師的需求；此外，搭配腦電圖裝置隨時測量患者的專注度，並且提示病患，以維持一定的專注程度；然而，裝置體積也減少許多，不再需要倚靠大型儀復健設備。但此系統也有下列的缺陷：

- (i) 運動追蹤裝置不穩定
- (ii) 姿態演算法和位移演算法存在許多問題
- (iii) 遊戲數據紀錄不正確，造成分析困難
- (iv) 腦電圖的電極必須使用導電膠作為介質
- (v) 多數患者反映遊戲無趣

我們希望能解決上述問題，帶給病患更好的復健療程。

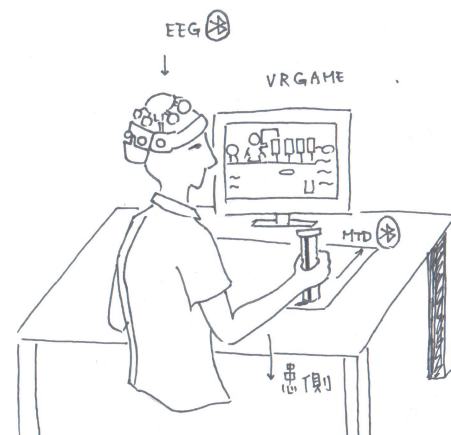


圖 1. 系統架構圖

(2) 系統架構

我們的系統包含三個區塊：運動追蹤裝置 (MTD)，腦電圖 (EEG) 裝置，和虛擬實境遊戲 (VR game)。系統設計架構如圖 1 所示，患者抓握圓筒狀的 MTD 裝置在水平桌面上進行復健遊戲，同時透過 EEG 裝置擷取患者的腦波訊號，並提供即時的回饋。

MTD 及 EEG 裝置的數據透過藍芽傳輸到電腦，經過動作演算法的運算成為 VR 遊戲中

控制遊物件的動作參數，並搭配專注度演算法的計算，在提供患者視覺和聽覺的回饋，提醒患者在復健中的表現，以提高復健效果。在復健期間，會將收集 EEG 及 MTD 裝置回傳的原始數據和運算後的控制參數，如位移、時間和專注度等，記錄在資料庫中，以便後續的分析。

(3) 研究目標

我們希望改善第一代復健系統的缺陷，透過新遊戲的設計，引起患者的興趣。

保留第一代的優點，以醫生指示之復健動作為核心的虛擬實境遊戲，透過遊戲提升患者的復健意願，並且配合腦電圖裝置即時回饋患者的腦波進行分析，判斷其專注力是否達標，若無，則會提醒患者保持專注力在遊戲上；另外，系統會自動記錄患者在復健過程中上肢的移動軌跡以及腦波變化，以供醫師分析評估。

3. 專題進行方式

本專題分成三個部分，EEG、MTD 以及 VR 遊戲。將 MTD 與 EEG 裝置所量測的資料透過藍芽無線傳輸技術，傳送至電腦端。電腦端則進行感測器資料之校正、姿態融合演算法之運算，並以計算結果作為遊戲進行的基礎與判斷。系統架構如圖 2 所示。

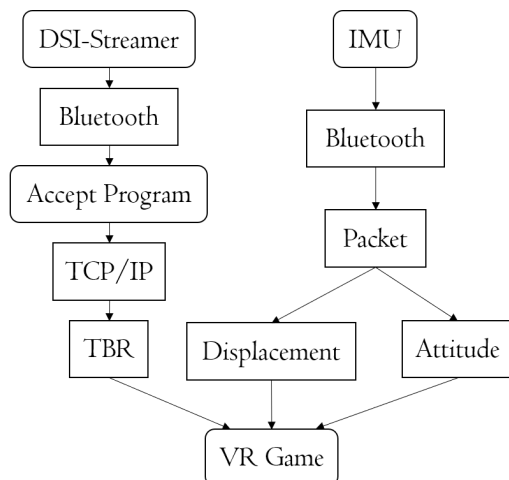


圖 2. 系統架構圖

(1) 硬體架構

(i) 動作追蹤裝置 (MTD)

為使得患者容易抓握 MTD 裝置，因此選用大小適中的圓筒狀外殼作為載體，架構如圖 3 所示。其內部的硬體及電路結構從上到下包含電池、主板 (Arduino Pro Min)、藍芽模組 (HC-05)、九軸慣性傳感器 (gy-80)、紅外線傳感器 (VCNL4000)。

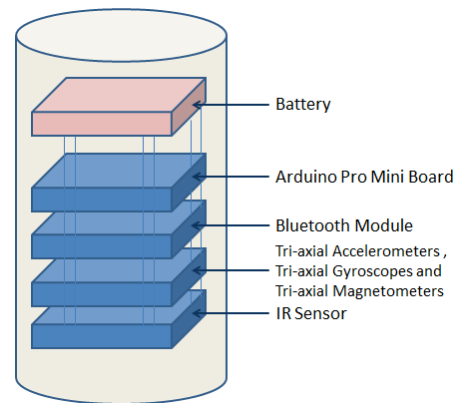


圖 3. MTD 架構圖

(ii) 腦電圖裝置 (EEG)

實驗中所使用的腦波機 (DSI-Streamer) 搭載了可以偵測 24 區域的腦電波強度，相較前一代復健系統的腦波裝置，我們可以得到更多元的資料。

(2) 軟體架構

(i) 姿態演算法

第一代系統使用 Kalman Filter 做姿態的計算，但缺少磁力計的資料，只能得到兩軸的姿態，因此我們選擇 Madgwick Sensor Fusion Algorithm 做為姿態計算的演算法，加入磁力計的運算後，可以得到完整的姿態，並且有更準確的資料。

在計算位移之前，我們將所擷取的資料根據前面多筆資料進行校正，流程如下：首先，我們透過藍牙模組從中擷取當前的資料，並且將前 1500 筆的資料做為校正的依據；接著，讓每個資料在收錄時根據校正值做調

整；最後，感測器的資料才可以作為計算的基礎。

Madgwick Sensor Fusion Algorithm 有兩大特點：第一，以四元數描述物體的姿態，在過往的三維空間旋轉狀態多以歐拉角描述，而歐拉角有萬象鎖的問題，因此數學家 William Rowan Hamilton 想到利用四元數描述旋轉，便可以簡單地解決此一問題，並更方便計算。第二，透過梯度下降法來快速地收斂結果，不僅可以快速得到所需要的結果，也可以大幅度地減低程式的負擔。

(ii) 位移演算法

我們從前 500 筆資料得到靜止時的雜訊，並取得其最大、最小值及平均值，再將後續的資料扣除此平均值，以完成校正。接著，由前 500 筆資料中，推測靜止時的雜訊，對三軸加速計進行濾波，將靜止時測得之加速度歸零。

另外，我們使用 FIR Filter 做極值的濾除，並去除了微小的雜訊，使波型更加的平穩。又因為數位取樣造成原始數據遺失，無法得到完整的加速度值，在移動速度很慢時，加速度值不夠明顯，而被當成雜訊濾除，會造成積分後得到的速度誤差越來越大，所以必須先知道有可能停止的加速度波型，搭配速度的狀態做零速度更新，使速度更貼近真實情形。

最後我們再將加速度值，進行積分得到速度與位移值。位移演算法的流程如圖 4 所示。

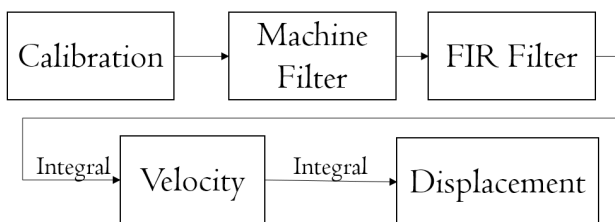


圖 4. 位移演算法流程圖

(iii) 專注度演算法

這次實驗承襲第一代復健系統所使用的專注度演算法—TBR 演算法，主要利用頭頂 (Cz) 的 Theta 波以及 Beta 波的比例變化量判斷專注趨勢；因為相關文獻與該領域醫師指出：Theta 波被認為與深度放鬆以及昏昏欲睡有關，當一個人專注時，其 Theta 波會比平時低；然而，因為受到外在事物的刺激，導致 beta 波隨者緊張程度改變。因此，可以利用 Theta 波及 Beta 波做專注度的判斷。

瞭解要分析的波段後，我們利用快速傅立葉轉換將 EEG 偵測到腦波依據振幅的強度做頻譜分析，並從中將 Theta 波及 Beta 波萃取出來。又因為每個人的腦波不相同，所以我們推論：Theta 波與 Beta 波的比值可以做為專注程度的依據。

我們將離散的腦電波取樣資訊轉換成頻譜圖之後，可以瞭解患者在進行復健運動時，各個部位的各個腦波的活躍程度，再依照這些結果，讓醫護人員可以更緊密地追蹤患者的復健成效，並對患者提出復健上的建議以及修正。

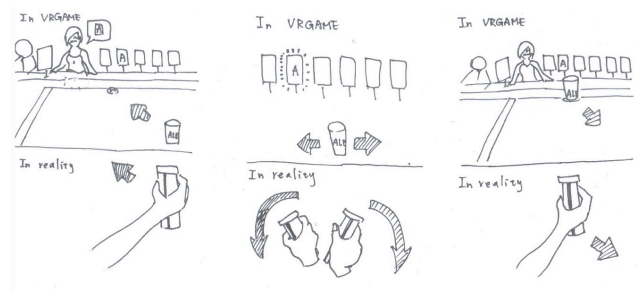


圖 5、遊戲示意圖

(3) 遊戲架構

遊戲使用 C# 及 Unity 公司所提供的遊戲引擎來設計，將傳統復健動作以 VR 調酒遊戲來實現。患者必須利用 MTD 裝置控制螢幕上的杯子來完成調酒動作，如圖 5 所示。

遊戲的進行過程中，會對 MTD 及 EEG 回傳的資料進行分析，以瞭解使用者目前的運

動狀態及專注程度，並適時地調整遊戲難度及回饋專注提示，讓使用者可以更專注地進行復健，以達成有效的手部復健。

4. 主要成果與評估

(1) 硬體

我們將原先所設計的 MTD 裝置中的電路重新規劃，使其不易發生短路等情況，且較方便維修；此外，我們也縮小了電路的體積，將裝置體積縮小，使其較容易抓握，讓患者可以更好的去控制裝置。

我們汰換原本的腦波器，改為不需要導電膠即可使用的 DSI-Streamer，可以省去黏貼時造成的不便；除此之外，也可以得到更多的資料做後續的分析。

(2) 軟體

在姿態計算中加入磁場的強度，以加強姿態的準確度，第一版左右旋轉角度的誤差大約為 0.32 度，如表 1，相較於第一版，我們的版本誤差只有約 0.16 度，如表 2，可看出明顯的差異。

N	Mean	Std Dev	Std Err	Minimum	Maximum
30	29.7810	0.7493	0.1368	28.1000	31.7000
Mean	95% CL Mean	Std Dev	95% CL Std Dev		
29.7810	29.5012	30.0608	0.7493	0.5967	1.0072
DF	t 值	Pr > t			
29	-1.60	0.1202			

表 1、第一代復健系統姿態誤差

N	Mean	Std Dev	Std Err	Minimum	Maximum
30	29.8353	1.5568	0.2842	27.5000	33.9000
Mean	95% CL Mean	Std Dev	95% CL Std Dev		
29.8353	29.2540	30.4166	1.5568	1.2398	2.0928
DF	t 值	Pr > t			
29	-0.58	0.5668			

表 2、第二代復健系統姿態誤差

(3) 遊戲

我們根據醫生建議的上肢復健動作設計調酒遊戲，遊戲進行方法如下：進入遊戲開始畫面(圖 6)，填寫病患編號，系統根據紀錄得知為第幾次進行復健，並選取欲做復健的手為左手還是右手，再設定裝置序列埠，最後按下 Play 按鈕即可進入遊戲畫面進行校正(圖 7)，校正完成後便會有顧客來點餐(圖 8)，需先將 MTD 裝置向斜前方移動，以將杯子放到杯墊上，完成後就會進入選擇酒類的畫面(圖 9)，患者透過左、右旋移動杯子到目標處，並維持此姿態直到時間結束，時間到後才可以將手恢復到原始狀態，遊戲就會開始裝填(圖 10)，最後將位於斜前方的杯子移動至開始位置後(圖 11)，即完成一回合的復健。

遊戲進行中，會在畫面上顯示：復健的回合數、選擇酒瓶的達成次數及遊戲剩餘時間，並且利用選擇酒瓶達成與否作為計分的依據，回饋在螢幕上，以激勵患者。



圖 6、開始畫面



圖 7、校正畫面



圖 8、遊戲進行畫面



圖 9、選擇酒瓶畫面



圖 10、裝填畫面



圖 11、遊戲進行畫面

(4) 比較

我們以第一代的上肢復健系統及我們改良的版本做為比較對象，分別對動作追蹤裝置 (MTD)、腦波裝置 (EEG Device)、姿態演算法、

位移演算法、遊戲及資料蒐集部分進行比較，比較結果如表 3 所示。

	第一代	新版復健遊戲
MTD	容易短路	不易短路
		方便抓握
EEG	8 個電極點	24 個接收點
	需導電膠	不須導電膠
姿態演算法	沒有使用到磁場強度	加入磁場強度
位移演算法	飽和	兩軸相同
遊戲	較無趣	較有趣
資料收集	有錯誤資料	重新設計

表 3、兩代復健系統必較表

(5) 資料分析

我們根據第一代復健系統所收取的病患基本資料及遊戲數據來進行統計的分析。資料為 20 位病患，分為 A、B、C 三組：A 組進行三十分鐘的傳統復健，B 組進行十五分鐘的傳統復健及十五分鐘的 VR 遊戲，C 組則與 B 組相同，但除了 VR 遊戲外，還增加 EEG 回饋病患專注程度。每位病患進行 24 次復健，每次包含十五回合。

我們除了可以利用傅格-梅爾評估量表 (Fugl-Meyer assessment upper-extremity) 前後測得知 C 組的手部功能比 B 組好，也可以利用遊戲所收錄的手部位移來觀察 C 組是否會比 B 組好。

計算位移的點與理想斜線的距離，再對一回合中的每個距離值取敘述統計量 (包含平均數、中位數、標準差、全距及四分位距) 以代表每個回合的值，接著對這五個統計量再去計算敘述統計量以代表一次復健的值，共 16 個。

接著對這 16 個統計量做主成分分析

(Principal Components Analysis, PCA) 以計算出能代表手部穩定度的值，並利用分段線性混和模型[3]觀察手部穩定度的值與哪些變因有關係。

可從表 4 看出患側與慣用手是否相同(hand) 會顯著 ($p<0.001$) 地影響手部穩定度的值；前十次復健(source1) 與組別(group) 的交互作用也相當顯著 ($p=0.02$)，表示在前十次復健時，組別的不同會使手部穩定度隨復健次數的進步幅度不同；我們也可以看到 11 次(source2) 復健後，手部穩定度並不顯著會因為復健方法不同而有不同的進步幅度。

固定效果的第三型檢定				
效果	分子自由度	分母自由度	F 值	Pr > F
source1	1	11	0.01	0.9135
source2	1	12	5.86	0.0322
group	1	263	0.06	0.8005
hand	1	263	302.88	<.0001
source1*group	1	263	4.94	0.0270

表4、固定效果型三檢定

5. 結語與未來展望

我們對結合 MTD、VR 和 EEG 裝置的中風後上肢復健系統進行改良，更新了位移演算法、姿態演算法及專注度演算法，並更改遊戲內容，以期望能協助中風病人有更好的復健成效。

復健系統仍有著一些缺點，在位移演算法的部分還需要在降低誤差；在 EEG 的部分由於部分頻道會因為臉部神經的肌肉訊號產生干擾雜訊，如何將這些雜訊去除會是我們未來研究的方向。

未來希望能改善上述缺點，並可利用 EEG 裝置的 24 個點來更為精準的理解患者腦部的狀態不給予相應的刺激。在資料分析方面也可承襲我們對第一代資料的處理，以驗證我們的復健系統相較於只使用 VR 遊戲或是傳統

復健的成效來的高。

6. 銘謝

感謝指導教授一年以來的指導與幫助，從一開始的專題主題討論、軟硬體與遊戲架構全程參與與協助，在我們毫無頭緒時，指引我們方向，讓我們對於整個專題的執行流程有更深刻的理解。也謝謝桃園長庚醫院的陳靖倫醫師，在復健遊戲設計上給予我們建議。也謝謝實驗室的學長姐，感謝依蓉學姊，在軟體方面提供了很大的幫助，及淇州學長，協助我們解決了硬體部分的問題。謝謝專題的組員們，在開發的過程中，互相幫助，讓彼此有所成長。最後謝謝所有曾經給予我們建議及幫助的同學們，讓我們能順利完成這次的專題。

7. 參考文獻

- [1] “Internet Stroke Center. Stroke Statistics | Internet Stroke Center,” Internet: <http://www.strokecenter.org/patients/about-stroke/stroke-statistics/>
- [2] Bor-Shing Lin, Jean-Lon Chen, and Hsiu-Chi Hsu, Novel Upper-Limb Rehabilitation System Based on Attention Technology for Post-Stroke Patients: A Preliminary Study, vol. 6, pp. 2723, 2017
- [3] 柳杉栽植距離試驗之林分段面積生長與收穫，林雅惠，2009